

レーザ・アークハイブリッド溶接の船体建造工程適用に向けた基礎研究

津村, 秀一

<https://doi.org/10.15017/1654824>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏名： 津村 秀一
論文名： レーザ・アークハイブリッド溶接の船体建造工程適用に向けた基礎研究
区分： 甲

論文内容の要旨

レーザー・アークハイブリッド溶接（以降ではハイブリッド溶接と称する）はレーザー溶接とアーク溶接の相互の利点を得ることが可能な溶接方法である。船舶などの大型溶接構造物の建造には豊富な実績やコスト面の有利さなどの観点から炭酸ガスアーク溶接を主とするアーク溶接が適用されているが、ハイブリッド溶接を適用できれば高速度での溶接施工並びに溶接変形の低減が可能であることが知られている。また、レーザー熱源が有する深溶込み性を活かして、従来のすみ肉溶接継手より強度面で優位と考えられる完全溶込み溶接継手を得ることが可能となる。しかしながら、一般商船の強度部材のような厚板に対するハイブリッド溶接の適用は、種々の技術的課題があるために未だ十分な状況にはない。

ハイブリッド溶接の船体建造工程への適用は、比較的板厚が薄い部材が多用される客船や艦艇などの建造工程を対象に、これら船種の建造が主である欧州圏の一部造船所において積極的に進められている。これらの造船所ではハイブリッド溶接に要求される高精度な溶接開先のギャップ精度管理を実現するために、(1) 開先面を機械加工仕上げする、(2) レーザ照射位置に精度よく配材するために大掛かりな部材拘束設備を導入、という対策を施している。しかしながら、レーザー発振源そのものに比較的高額な投資コストが要求される現状で、このような大掛かりな付帯設備の導入が必要不可欠な工法では、ハイブリッド溶接の利点を考慮してもその導入には二の足を踏まざるを得ず、従来の造船工作法の延長線上の工法としてハイブリッド溶接の溶接施工法を確立する必要がある。

我が国の造船所では、部材切断や開先加工は熱切断（ガス、プラズマ、あるいはレーザー）でなされるのが一般的であり、熱切断による開先加工を前提としてハイブリッド溶接施工を実現する手法が必要である。加えて、大規模な付帯設備の導入無しにハイブリッド溶接を導入するためには、仮付け溶接による部材拘束でも継手の製作が可能なハイブリッド溶接施工法が必要である。

鋼板のハイブリッド溶接に関する研究成果の多くが板厚 10mm 以下の鋼板の突合せ溶接継手を対象としたものであり、国内造船所で主に建造される船種（ばら積み運搬船やタンカーなど）で使用される板厚（14mm 以上）の鋼板を対象としたハイブリッド溶接に関する研究は充分とは言い難い。また、ハイブリッド溶接の熱源特性から、従来のすみ肉溶接施工箇所を強度面で格段に優れた完全溶込み溶接に置き換えることが期待できるが、製作した継手の強度評価まで踏み込んだ研究事例は少ないため、現状の船級規則では完全溶込み継手として製作できても、すみ肉溶接と見なしての強度評価がなされている。

さらに、先行研究ではハイブリッド溶接のアーク熱源として TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接, MIG (Metal Inert Gas) 溶接, あるいは MAG (Metal Active Gas) 溶接を用いているが、造船分野では溶接長が 1,000km を超える場合もあるため、これらの溶接法と比較してシールドガスのコストを抑制する観点から、アーク熱源に炭酸ガスアーク溶接を用いることが望まれる。

本論文では、大出力レーザーとして近年進歩が著しいファイバーレーザーと炭酸ガスアーク溶接を熱源に用いたハイブリッド溶接システムを用い、部材拘束のための大掛かりな付帯設備を必要とせず、

従来の造船工作法の延長線上の工法としてのハイブリッド溶接施工法を確立することを目的としており7つの章により構成される。

第1章では、ハイブリッド溶接法の特徴について説明し、同溶接法に関する研究動向と造船分野における適用事例を調査するとともに、国内造船所の船体建造工程にハイブリッド溶接法を導入するための問題点を明らかにし、本研究の目的を明示した。

第2章では、船体構造中に多数存在するT継手を、従来のすみ肉溶接から強度面で優れる完全溶け込み溶接に置き換えることを目的に、これの施工条件について検討している。施工性を考慮し片側からの一回の施工により継手を完成させる片側貫通施工法を評価対象とした。また、これまでに行われた種々の溶接施工条件確立に向けた研究事例に沿って、溶接長150mm程度の継手を無欠陥で製作することを目的に施工条件を検討した。ここでは、外乱などのばらつきに対し頑健性を有する技術開発手法である品質工学を援用して適正な溶接施工条件を導出している。

第3章では、船級協会による溶接施工承認試験において要求される、溶接長1,000mmの継手の製作を行った。この製作実験の過程で裏ビード脚長が漸減する現象を確認し、これが生じる原因を調査すると共に防止対策を検討し、健全な継手の製作を可能とした。また製作した継手に対し日本海事協会が定めたハイブリッド溶接施工に関するガイドラインで規定された種々の強度試験を行い、本研究で確立した施工条件により健全な溶接継手が製作できることを確認した。

第4章では、ハイブリッド溶接により製作した完全溶け込みT継手の疲労強度について、従来のアーク溶接により製作される場合の設計曲線との比較を行った。疲労強度に関しては船級協会による溶接施工承認試験では要求されないものの、溶接構造物の構造強度健全性担保の観点からは重要な評価項目である。疲労試験の結果から、従来のすみ肉溶接により製作される継手と比較して大幅な疲労強度の向上を確認すると共に、これを達成できた要因について溶接ビード形状に着目した分析を行った。

第5章では、従来のすみ肉溶接継手を両側完全溶込みT継手、または片側完全溶込みT継手に置き換えた際の角変形低減効果に関する検討を行った。加えて両側完全溶込みT継手については、精度良く温度履歴を再現できる熱源形状のパラメータを同定し、熱弾塑性FE解析による溶接変形予測手法について検討した。

第6章では、大型の付帯設備を必要としない溶接施工法の確立を目指し、レーザ単独溶接による仮付け溶接方法について検討し、目標である付帯設備を不要とする施工法実現の目途を付けた。

第7章は結論であり、本研究の総括と将来課題をとりまとめた。